DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS DE VENTILACIÓN

Autor: Villalba Villar, Ana Isabel

Director: Huete García, Emma

Entidad Colaboradora: Empresarios Agrupados

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

Este proyecto surge como una iniciativa por parte de la entidad colaboradora, Empresarios Agrupados, para mejorar el software HVACPC 2.0.

HVACPC 2.0 es un programa de cálculo de pérdidas de carga en conductos de ventilación. La aplicación incluye diversos tipos de elementos como tramos rectos, transformaciones, codos, desviaciones, salidas, entradas, accesorios (compuertas, rejillas, difusores...), filtros, serpentines o equipos no programados. Los elementos se introducen de forma secuencial y la pérdida total es la suma de la pérdida de carga de cada elemento.

La pérdida de carga es obtenida a partir de fórmulas y procedimientos indicados en distintos manuales de mecánica de fluidos y diseño de conductos (Idelchik, ASHRAE...), además de catálogos y manuales de fabricantes (TROX, KOOLAIR...).

El objeto de este proyecto es la creación de una nueva aplicación de cálculo de pérdidas de carga en conductos de ventilación basada en el programa HVACPC 2.0, en la que se introducirán mejoras tanto en la interface como en el procedimiento de cálculo. La revisión del programa es necesaria porque el manejo de la aplicación es complicado para el usuario, la modificación de los elementos no es posible, la recuperación y reutilización de datos es compleja y porque los procedimientos de cálculo han sido actualizados desde 1994, año en el que se aprobó la aplicación HVACPC 2.0. Asimismo se ha redactado el manual de usuario y se ha realizado la validación de los elementos más representativos, contrastándolos con la versión anterior o justificando el nuevo procedimiento con un programa de cálculo alternativo.

Metodología

Inicialmente se revisaron las ecuaciones y procedimientos de cálculo utilizados por la aplicación HVACPC 2.0 para cada tipo de elemento, buscando para ello la referencia bibliográfica indicada en el manual de usuario. Se consiguieron las versiones más recientes de los libros, manuales y catálogos empleados. Tras compararse ambos procedimientos, se conservaron aquellos que no habían sufrido cambios y se actualizaron aquellos que habían sido modificados.

Tras haber finalizado la revisión del cálculo, se programó en Visual Basic la aplicación. La implementación numérica de los procedimientos de cálculo se han tenido en cuenta las siguientes situaciones:

- Para el cálculo de la pérdida de carga y otras variables de salida, como la velocidad o la presión dinámica, se han utilizado ecuaciones de dinámica de fluidas cuando ha sido necesario. Estas fórmulas se incluyen de forma directa en el código.
- Para algunos elementos se utilizan algoritmos previos para determinar el método de cálculo de la pérdida de carga en función de los parámetros de entrada o de otros obtenidos a partir de ellos. En el código se introduce la comprobación de esos parámetros y, según las condiciones, el programa elige un procedimiento u otro.
- La mayoría de los coeficientes se determinan mediante tablas. Éstos dependen de una o dos variables y se obtienen mediante interpolación lineal. En el código se han creado dos funciones que realizan interpolaciones lineales simples y dobles. Las funciones reciben como argumentos las variables de las que depende el coeficiente y un parámetro que identifica la tabla de referencia. Las tablas se encuentran en un libro de Excel al que el programa accede para obtener los datos y realizar la interpolación.
- Los catálogos de fabricantes proporcionan gráficas para representar la pérdida de carga de los accesorios. Las curvas se aproximan mediante ecuaciones para introducirse en el código. Primeramente se representan en Excel, después se incluye la línea de tendencia más apropiada con su ecuación y por último se ajustan los coeficientes de la fórmula obtenida para no perder grado de conservadurismo.

Los elementos suelen combinar más de un procedimiento para obtener su pérdida de carga.

El manual de usuario de la aplicación creada, HVACPC 3.0, se ha realizado tomando como referencia el de la versión anterior para el contenido y un manual de usuario de una aplicación más reciente para la forma.

La validación del programa se ha realizado considerando 29 casos, que constituyen una muestra significativa de todos los casos posibles.

Para ello se han utilizado dos aproximaciones:

a) Contrastación contra la versión anterior: por este método se validan aquellos elementos cuyos procedimientos de cálculo no han cambiado con respecto a la versión anterior. Utilizando las mismas condiciones de entrada, se ha calculado la pérdida de carga en ambas aplicaciones y se ha determinado el error cometido.
b) Comprobación del cumplimiento de las ecuaciones y procedimiento de cálculo: por este método se han validado aquellos elementos en los que el procedimiento de cálculo ha sido actualizado. Se verifica que los resultados mostrados por el programa coinciden con los obtenidos de la sustitución directa en ecuaciones, tablas y/o gráficas, determinando asimismo el error cometido.

Un elemento se considera validado correctamente cuando su error con respecto a uno de los dos métodos es inferior al 1%.

Resultados

En la Tabla 1 aparece un resumen de los resultados obtenidos en la validación, mostrando los errores cometidos por el método utilizado en cada caso y que en todos los elementos son inferiores al 1%.

Tabla 1. Errores cometidos en la validación

Caso	*Contrastación con la versión anterior*	*Comprobación del cumplimiento de ecuaciones*
Tramo recto rectangular	0,990%	-
Tramo recto circular	0,196%	-
Transformación concéntrica	-	0,000%
Transformación excéntrica	-	-0,003%
Codo Vaned	-	0,003%
Codo Horizontal	-	-0,007%
Codo Vertical	-	0,005%
Codo 1 Pieza	-	0,001%
Codo 3 Piezas	-	0,003%
Codo 5 Piezas	-	0,008%
Codo convergente/divergente	-	0,000%
Codo radio corto	-	0,000%
Codo Z Coplanario	-	0,000%
Codo Z no coplanario	-	0,000%
Salida con Splitter	0,163%	-
Ramal de Salida	-	-0,001%
Ramal de entrada	0,193%	-
Entrada convergente	-	0,000%
Salida divergente	-	0,004%
Entrada simétrica	0,192%	-
Salida simétrica	0,190%	-
Entrada normal	0,193%	-
Entrada de campana	-	-0,010%
Reentrada	-	0,009%
Salida Abrupta	0,193%	-
Filtros	0,000%	-
Serpentín de carga sensible	-0,100%	-
Serpentín de carga latente	-0,100%	-
Serpentín eléctrico	-	0,000%

En cuanto al manejo de la aplicación y a su formato se han conseguido implementar los siguientes aspectos que mejoran la usabilidad del programa y permiten realizar cálculos seguros:

- Los datos de entrada del programa se introducen en un formato tipo tabla que tiene predefinidas todas las variables que pueden necesitar los elementos. Como cada elemento requiere datos de entrada diferentes, el programa bloquea los campos que no son necesarios.
- El programa bloquea las celdas de los resultados y los datos de entrada cuando se ha calculado la pérdida de carga, para evitar incoherencias en los resultados.
- La aplicación permite eliminar elementos y añadir nuevos elementos en mitad de una línea de conductos, facilitando la corrección de errores en la entrada de datos.

- La recuperación y reutilización de datos se hace a través de Excel. El programa vuelca los datos en un libro de Excel, en el que se incluye una hoja para los datos de entrada, otra para los datos de salida y una tercera a modo de resumen.

Conclusiones

Se han conseguido mejoras con respecto a la versión anterior del programa. El manejo de la aplicación es intuitivo y permite al usuario disponer de toda la información en la pantalla principal. La corrección de errores en la entrada de datos es sencilla y ahorra tiempo al usuario. La recuperación y reutilización de datos se hace de manera cómoda, utilizando para ello la aplicación de Excel. Además se ha dado solución a un mayor número situaciones que en la versión anterior no estaban contempladas porque aún no habían sido desarrollados sus métodos de cálculo en la literatura.

Por otra parte, la incorporación de las funciones de interpolación lineal simple y doble supone una mejora importante en la metodología de cálculo del programa, ya que una futura actualización del programa se podría hacer con muy pocos ajustes en el código. La interpolación permite obtener valores más precisos que si se utilizasen ecuaciones para representar el comportamiento de las tablas.

El programa genera valores coherentes con la versión anterior cuando los procedimientos de cálculo no han sido modificados y aplica correctamente los métodos de obtención de pérdidas de carga en los casos en los que la metodología ha sido actualizada.

El manual de usuario facilita el uso de la aplicación, explicando la forma de introducir los datos, las consideraciones, las limitaciones, los resultados obtenidos, etc, además de incluir ejemplos prácticos y explicar la metodología que se aplica para cada elemento.

Referencias

[IDEL94] Idelchik, I.E., "Handbook of Hydraulic resistance", CRC Press Inc. 1994.

[AAF_75] American Air Filter (AAF), "Chilled water coils – Bulletin Nº CC 101", American Air Filter Co. Inc., 1975.

[ASHR09] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "2009 ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2009.

[ASHR05] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "2005 ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2005.

[ASHR02] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "ASHRAE Duct Fitting Database", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2002.

[VARZ44] Varzsonyi, A., "Pressure Loss in Elbows and Duct Branches", Transactions of the ASME, April 1944.

[TROX09] TROX España, S.A., "Catálogo KLIMA Y FILTER", Febrero 2009.

[SMAC90] SMACNA, "HVAC Systems – Duct design", 1990.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN INFORMATICS APPLICATION FOR THE CALCULATION OF HEAD LOSSES IN VENTILATION DUCT SYSTEMS

Introduction

This thesis is an initiative of the collaborating institution, Empresarios Agrupados, with the purpose of improving the HVACPC 2.0 software.

HVACPC 2.0 is an air duct head loss calculation program for ventilation systems. The software includes several types of items such as straight pipes, transitions, elbows, junctions, entries, discharges, accessories (dampers, volume flow control devices, diffusers etc.), filters, heating/cooling coils or devices that have not been programmed.

Head losses are calculated using formulation and calculation procedures that are included in different fluid mechanics and duct design books (Idelchik, ASHRAE etc.) as well as manufacturer catalogues (TROX, KOOLAIR etc.).

The purpose of this thesis is to create a new air duct head loss calculation application for ventilation systems based on the existing program HVACPC 2.0, in which interface and calculation procedure improvements will be introduced. The update of the old program is necessary because the use of the application is complicated for users, the modification of the items is not possible, the data recovery is complex and the calculation methodologies have not been updated since 1994, the date when the HVACPC 2.0 software was approved. In addition, a user manual has been drafted and validation has been made considering the most representative items, comparing the results with the previous program and justifying the new methodology with another calculation tool.

Methodology

Initially, the equations and calculation procedures used by the application HVACPC 2.0 were reviewed for each type of item, looking for it in the bibliographic references indicated in the user manual. The latest versions of books, manuals and catalogs were used to analyze the methodology. After comparing both procedures, those which had not been changed were kept and those that had been modified were updated.

After the review of the methodology was finished, the programming of the application was accomplished in Visual Basic. On the implementation of the numerical models, the following situations have been considered:

- The calculation of head losses and other variables, such as velocity or dynamic pressure, involves fluid dynamics equations. Formulae have been incorporated directly into the source code of the software.
- For some items, previous algorithms were used to determine the calculation method that is required to obtain head losses depending on the inputs or other parameters that have been calculated. In the code, those parameters are checked and based on the conditions, the program chooses the right method.
- Most of the coefficients can be found in reference tables. They are a function of one or two variables and can be calculated through lineal interpolation. The source code has two functions that have been created to carry out simple and double lineal interpolations. The functions take the variable inputs upon which the coefficient

depends on, where a parameter identifies the required table. Tables are stored in an Excel book. The program can access to retrieve the data and perform the interpolation.

- Manufacturer's catalogues usually provide charts to represent pressure losses in accessories. Curves are assimilated as equations in order to be added into the code. First of all they are drawn in Excel. After that, the most appropriate trend line with its equation is incorporated and finally the coefficients of the formula are adjusted so that the degree of conservatism will be kept.

Items usually combine more than one procedure for obtaining their pressure loss.

The user manual of the designed application, HVACPC 3.0, has made reference to the previous version in content aspects and to a more recent application user manual for format aspects.

The software validation has been carried out considering 29 cases, which constitute a significant sample of all possible cases.

This has been done using two approaches:

a) Contrasting against the previous version: those items whose calculation procedures had not changed since the previous version are validated by this method. Using the same input conditions, the head loss is calculated using both applications and the committed error is determined.
b) Compliance verification of the equation and calculation procedures: those items on which the calculation procedure has been updated have been validated by this method. It is verified that the results shown by the program coincide with those obtained by direct substitution in equations, tables and/or charts, thus determining the committed error.

An item is considered properly validated when the error obtained in one of the two methods is less than 1%.

Results

Table 1 shows a summary of the validation results, showing the committed errors on the method used in each case. In all items errors are smaller than 1%.

Tabla 1. Validation errors

Case	*Contrasting against the previous version*	*Compliance verification of equations*
Straight pipe, rectangular section	0,990%	-
Straight pipe, circular section	0,196%	-
Concentric transition	-	0,000%
Non concentric transition	-	-0,003%
Vaned elbow	-	0,003%
Horizontal die stamped elbow	-	-0,007%
Vertical die stamped elbow	-	0,005%
Mitered elbow	-	0,001%
3 Gore elbow	-	0,003%
5 Gore elbow	-	0,008%
Variable inlet/outlet areas elbow	-	0,000%
Short radius elbow	-	0,000%
Z shaped elbow	-	0,000%
Combined 90 degree elbow lying in different planes	-	0,000%
Diverging wye with splitter	0,163%	-
Diverging wye	-	-0,001%
Converging wye	0,193%	-
Converging smooth radius wye	-	0,000%
Diverging smooth radius wye	-	0,004%
Symmetrical converging dovetail	0,192%	-
Symmetrical diverging dovetail	0,190%	-
Sudden contraction entry	0,193%	-
Bellmouth	-	-0,010%
Duct mounted	-	0,009%
Discharge	0,193%	-
Filters	0,000%	-
Heating/cooling dry coils	-0,100%	-
Heating/cooling wet coils	-0,100%	-
Electrical coils	-	0,000%

Regarding the utilization of the application and its format, the following aspects that improve the usability of the program and allow obtaining safe results have been successfully implemented:

- The input data of the program are entered in a table standard format that has all the variables that items may need. Since each item requires different input data, the program blocks the fields that are not needed.
- The program locks the results and input data cells when the head loss has been already calculated to avoid inconsistencies in the results.

- The application can remove items and add new ones in the middle of a duct line, facilitating the correction of errors in the data entry.
- The data recovery and reutilization is done through Excel. The software dumps the data into an Excel workbook, which includes a worksheet for input data, one for output data and a third one including a summary with all the information.

Conclusion

Improvements were made over the previous version of the program. The utilization of the application is intuitive and allows users to have all the information on the main screen. The correction of errors in data entry is simple and saves time to the user. The recovery and reutilization of data is easy using Excel. Solution for a greater number of situations that were not included in the previous version has been found, because their calculation methods had not yet been developed in the literature.

Moreover, the incorporation of the single and double lineal interpolation functions is a significant improvement in the application methodology of calculation as future program updates could be done with very few changes in the code. The interpolation allows obtaining more accurate values than if equations were used to represent the table data.

The program generates consistent values with the previous version when the calculation procedures have not been modified and successfully applies head losses methods in the case the methodology had been updated.

The user manual makes the application use easier, explaining how to enter data, considerations, limitations, results, etc., as well as including practical examples and explaining the methodology that has been applied to each item.

References

[IDEL94] Idelchik, I.E., "Handbook of Hydraulic resistance", CRC Press Inc. 1994.

[AAF_75] American Air Filter (AAF), "Chilled water coils – Bulletin Nº CC 101", American Air Filter Co. Inc., 1975.

[ASHR09] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "2009 ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2009.

[ASHR05] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "2005 ASHRAE Handbook Fundamentals", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2005.

[ASHR02] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), "ASHRAE Duct Fitting Database", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2002.

[VARZ44] Varzsonyi, A., "Pressure Loss in Elbows and Duct Branches", Transactions of the ASME, April 1944.

[TROX09] TROX España, S.A., "Catálogo KLIMA Y FILTER", Febrero 2009.

[SMAC90] SMACNA, "HVAC Systems – Duct design", 1990.